

強磁性金属・合金(Fe,Ni,Co)/Cu人工格子薄膜の磁気抵抗効果と磁性層間相互作用に関する研究

| | |
|-----|---|
| 著者 | 久保田 均 |
| 号 | 1627 |
| 発行年 | 1993 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/6900 |

| | |
|-------------|---|
| 氏 名 | 久保 田 均 |
| 授 与 学 位 | 博 士 (工 学) |
| 学位授与年月日 | 平成 6 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第 5 条第 1 項 |
| 研究科, 専攻の名称 | 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 応用物理学専攻 |
| 学 位 論 文 題 目 | 強磁性金属・合金 (Fe, Ni, Co)/Cu 人工格子薄膜の 磁気抵抗効果と磁性層間相互作用に関する研究 |
| 指 導 教 官 | 東北大学教授 宮崎 照宣 |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授 宮崎 照宣 東北大学教授 齋藤 好民 東北大学教授 島田 寛 |

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

近年, 人工格子薄膜は界面・表面の物性などの基礎的な興味からのみならず, 工業的応用への大きな可能性をもった新物質として各分野で研究が進められている。磁性人工格子に関しては1988年に Baibich らが Fe/Cr 人工格子薄膜において巨大磁気抵抗効果を発見し, その後数多くの研究が行われている。この現象は, 磁界の印加に伴う電気抵抗の変化が従来の薄膜, バルク物質のそれよりもはるかに大きく, 基礎並びに応用の両面から大きな注目を集めている。基礎物性の観点からは巨大磁気抵抗効果及びその効果が生じるために必要な負の磁性層間相互作用の発現機構に関する研究が行われてきたが, それらについて十分に理解されていない点が残されている。それは基本的には2つの点に絞られる。1つは界面の磁性原子の磁気分極の状態と巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の発現機構の関係, もう1つは界面の微細構造と磁性原子の磁気分極の状態の関係である。このうち前者に関しては本質的な問題点であるにも関わらず系統的な研究がほとんど行われていない。よって本研究では特に前者に重点を置き実験を行った。実験としては試料の作製条件を一定に保ち巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の磁性金属・合金の組成に対する依存性を系統的に調べる事が重要である。この様な実験により界面の磁性原子の磁気的分極状態とスピン依存散乱並びに磁性層間相互作用の関係を理解する事が期待できる。そこで本研究の目的を次のように定める。

(1) 巨大磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用の磁性金属・合金組成依存性及び温度依存性を系統的に調べる。(2) 磁性原子の磁気的分極状態と巨大磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用の関係を解明

する。これらの事を通して巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の発現機構を明らかにする。

第2章 実験方法

本章では試料の作製方法並びに構造及び電磁気的特性の測定方法について述べる。試料作製は、マクネトロンスパッタ法並びに高真空電子ビーム蒸着法を用いて行った。構造解析にはX線ディフラクトメータ (Cu-K α) を用いた。磁化測定には振動試料型磁力計及び SQUID 磁束系を使用した。磁気抵抗効果の測定は直流4端子法により行った。

第3章 (Fe, Ni, Co)/Cu 人工格子薄膜の磁気抵抗効果

本章では非磁性層を Cu に固定し磁性層を種々変えてスパッタ法で作製した (Fe, Ni, Co)/Cu 人工格子薄膜の構造並びに磁気抵抗効果の Cu 膜厚依存性及び磁性金属・合金の組成依存性について述べる。ほとんす全ての組成において MR 比は膜厚に対して振動しなから減衰し、第3ピークまで観測できた。Fig 1 には第1ピークにおける MR 比 ($\Delta\rho/\rho_0$) の磁性層の電子数 N 依存性を示す。図中には他の研究者による報告値及び Anderson model に基づき界面の磁性原子によるスピン依存散乱を取り入れた井上らの計算結果を合わせて示している。第2, 第3の各ピークにおける実験結果も第1ピークと同様な傾向を示していた。本実験結果と理論計算を比較すると、両者とも① Co 付近で極大を示し、②電子数の増加とともに MR 比が減少している点で一致している。しかし、③ $N < 26.8$ では実験値は急激に減少しており、④ $N > 27.5$ では計算値は実験値に比へ急激に減少している。又、⑤両者の絶対値には開きがある。③に関しては構造解析の結果から膜の結晶構造の乱れか原因と考えられる。④に関しては理論計算に用いた近似の粗さか原因と考えられる。又、⑤に関しては理論計算では磁性層と Cu 層の界面一層におけるスピン依存散乱のみを考慮し、膜中での格子欠陥、格子歪などによるスピンに依存しない散乱を考慮していない事か原因であると考えられる。以上の様に実験結果と理論計算とはいくつかの点で違いがあるが、定性的に一致している。したがって巨大磁気抵抗効果は界面の磁性原子によるスピン依存散乱により生ずると考えられる。

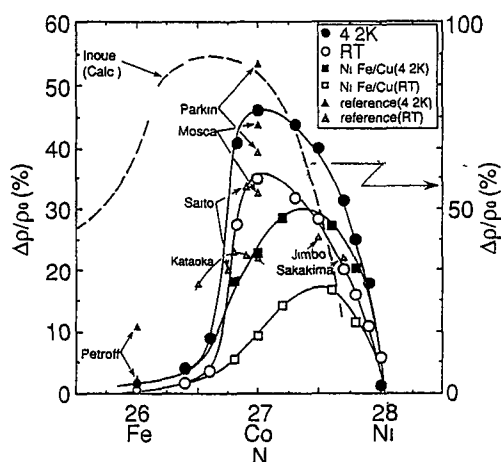


Fig 1 MR 比の組成依存性

第4章 (Fe, Ni, Co)/Cu 人工格子薄膜の磁性層間相互作用

本章では第3章で作製した試料について磁性層間相互作用の Cu 膜厚依存性及び磁性金属・合金の組成依存性について述べる。す全ての組成において飽和磁界 (H_s) は Cu 膜厚に対し振動しな

がら減衰し、第3ピークまで観測できた。各ピークの H_s の大きさのN依存性はCo付近で極大を示した。各組成においてMR比及び H_s のCu膜厚に対する振動周期は約12Åで一定であった。又各ピークを示すCu膜厚は磁性金属・合金の電子数の増加に伴いいずれも1電子数当たり約4ÅCu膜厚の薄い方へシフトした。BrunoらはAnderson modelに基づいて界面の磁性原子間のRKKY的な相互作用を取り入れた理論計算を行っている。それによると振動周期及び磁性層の1電子数あたりのピーク位置のシフトはそれぞれ9.4Å及び2.5Åであり、実験結果をほぼ説明できる事が明らかになった。Fig. 2に磁性層間相互作用の大きさ(J)の磁化 M_s に対する依存性を示す。 M_s は磁性層の単位体積当たりの磁化で、図中ではボーア磁子単位で表している。なお、図中の実験結果は構造に大きな変化のない $N \geq 26.8$ のデータを示している。図中の実線はBrunoらの理論式で、d電子の5重の縮退を考慮し、さらに実験値のJの最も大きいデータ点に重なるように定数項Cを乗じている。この関係式を用いると実験結果を良く再現できる事がわかった。以上、Jの磁化に対する依存性、振動周期及びピーク位置のシフトについての実験結果はBrunoらの理論により定性的に説明できる事がわかった。従って、磁性層間相互作用は界面の磁性原子間のRKKY的な相互作用により生じていると考えられる。

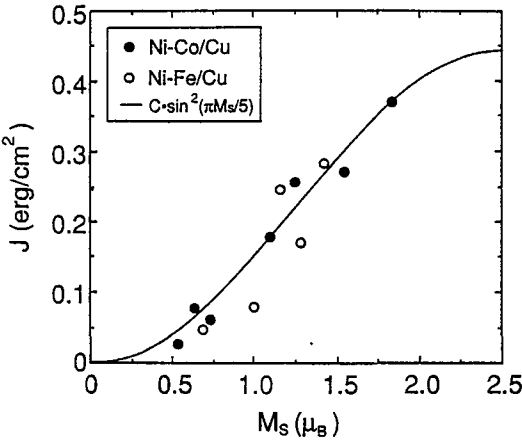


Fig. 2 磁性層間相互作用(J)の磁化(M_s)依存性

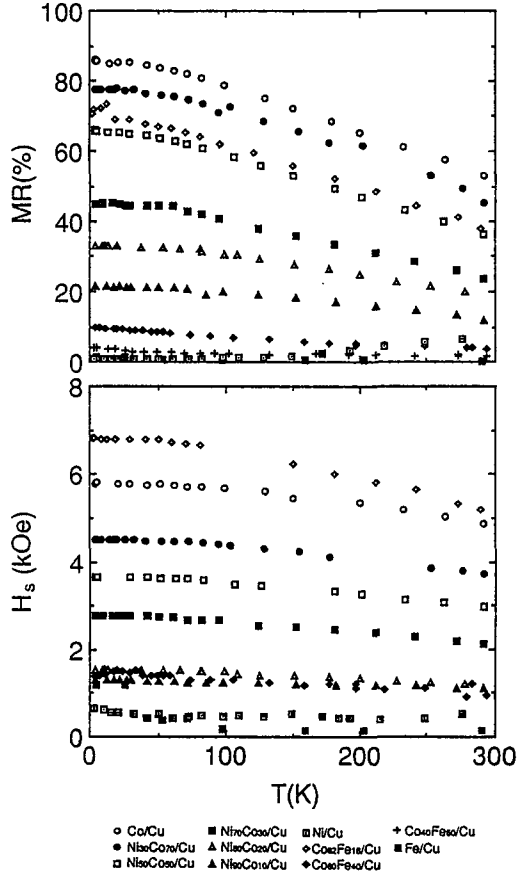


Fig. 3 第1ピークにおけるMR比及び H_s の温度依存性

第5章 (Fe, Ni, Co)/Cu人工格子薄膜の磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の温度依存性

本章では第3、4章で用いた試料の磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の温度依存性に

について述べる。

Fig. 3 に第 1 ピークにおける各組成の MR 比及び H_s の温度依存性を示す。MR 比及び H_s は温度の上昇と共に単調に減少している。第 2, 3 ピークの MR 比並びに H_s もほぼ同様な傾向を示した。各温度におけるゼロ磁界及び高磁界での電気抵抗 (ρ_0 , ρ_s) は全ての試料で温度の上昇と共に単調に増加した。 ρ_0 及び ρ_s の温度依存性を two current model を用いて解析し、界面での磁気的な散乱の温度変化から界面の磁性原子の磁化の減少を求めた。その結果、MR 比及び H_s の減少は界面の磁性原子の磁化の減少と密接に関連していることが明らかになった。

第 6 章 スパッター法及び蒸着法で作製した $\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}/\text{Cu}$ 人工格子薄膜の巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用

本章ではスパッター法及び蒸着法で作製した $\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}/\text{Cu}$ 人工格子薄膜の磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用について述べる。Fig. 4 にスパッター法及び蒸着法で作製した $\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}/\text{Cu}$ 人工格子薄膜の MR 比の Cu 膜厚依存性を示す。スパッター膜では MR 比は Cu 膜厚に対して明瞭に振動しているのに対して、蒸着膜ではピークの値は小さく振動も不明瞭である。両者の膜構造及び磁化を調べた結果、蒸着膜ではスパッター膜に比べ拡散が大きく、界面の磁気モーメントがより減少していることが分かった。従って、巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用にとって界面の磁性原子の磁気的な分極が重要であることが明らかとなった。

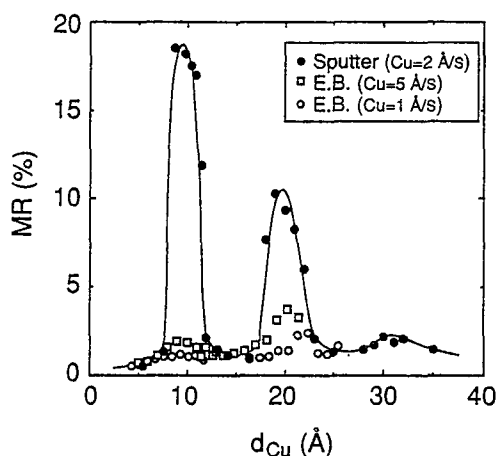


Fig. 4 スパッター膜及び蒸着膜の MR 比の Cu 膜厚依存性

第 7 章 総 括

以上の巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の磁性金属・合金の組成依存性並びにそれらの温度依存性に関する実験結果の大部分は系統的な本研究により初めて得られた。又、井上ら及び Bruno らによる Anderson model を人工格子薄膜に適用した理論により、これらの実験結果を定性的に説明できることを示した。即ち、巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用が、伝導電子が局在した d 電子により散乱を受ける Anderson model により統一的に理解できる事をはじめて示した。従来、両者が密接な関係にある事を示唆する実験結果がある一方で、巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用の起源については全く別々に考えられてきたが、本研究により両者は本質的には同一の起源を持つ事が実験的に明らかにされたと言える。

審 査 結 果 の 要 旨

磁性人工格子薄膜における巨大磁気抵抗効果は磁性と電気伝導が絡み合った複雑な現象である。この発現機構を解明することは基礎物性及び工業的応用の両観点から非常に重要である。本論文は巨大磁気抵抗効果並びにその効果が生じるために必要な負の磁性層間相互作用の磁性金属・合金依存性を系統的に調べ、両者の発現機構について実験的に明らかにしたものであり、全7章よりなる。

第1章は序論で、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では試料の作製方法並びに構造及び電磁氣的性質の測定方法を述べている。

第3章では(Fe, Ni, Co)/Cu人工格子薄膜の磁気抵抗効果について述べている。磁性層の何れの組成においてもCu層の膜厚に対して磁気抵抗比(MR比)の大きさが振動しながら減衰することを示した。Cu層の膜厚に対する振動の各ピークにおけるMR比の大きさは磁性金属・合金の全電子数が約27で極大を示し、Anderson modelに基づく理論計算の結果と定性的に一致することを示した。これにより巨大磁気抵抗効果は界面の磁性原子によるスピン依存散乱によって生じる事を明らかにした。

第4章では(Fe, Ni, Co)/Cu人工格子薄膜の磁性層間相互作用について述べている。何れの組成においてもCu層の膜厚に対して飽和磁界(H_s)の大きさが振動しながら減衰することを示した。振動周期、磁性層間相互作用の大きさの磁性層の磁化に対する依存性並びに磁性金属・合金の全電子数に対する振動の位相のシフトに関する実験結果はAnderson modelに基づく計算結果と定性的に一致することを示した。これにより磁性層間相互作用は界面の磁性金属・合金間に働くRK KY的相互作用によって生じる事を明らかにした。

第5章では(Fe, Ni, Co)/Cu人工格子薄膜の磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用の温度依存性について述べている。MR比及び H_s は4.2Kから室温の間で温度上昇に伴い単調に減少することを示した。これらの実験結果をスピンの反転を伴わないtwo current modelを用いて解析した結果、MR比及び H_s の減少は界面の磁性金属・合金の磁化の減少と密接に関連していることを明らかにした。

第6章ではスパッター法及び蒸着法で作製した $\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}$ /Cu人工格子薄膜の磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用について述べている。両者の膜構造、MR比及び H_s を比較した結果、巨大磁気抵抗効果及び磁性層間相互作用によって界面の磁性原子の磁氣的な分極が重要であることを明らかにした。

第7章は総括である。

以上要するに、本研究は人工格子薄膜における巨大磁気抵抗効果並びに磁性層間相互作用の発現機構を実験的に明らかにしたものであり、応用物理学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。